

# Bahnautomatisierung aus verschiedenen Blickwinkeln

Dr.-Ing. Bärbel Jäger

Dr.-Ing. Christian Meirich

Vorlesung am 06.11.2018



Wissen für Morgen



# Gliederung

- Einführung
- Potenziale der Automatisierung
  - Für unterschiedliche Stakeholder
  - In unterschiedlichen Marktsegmenten
- Größte Herausforderungen
- Richtlinien und Regelwerke
- Schiene vs. Straße
- Zusammenfassung



# Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft



## Forschungseinrichtung

- Luftfahrt
- Raumfahrt
- Energie
- Verkehr
- Sicherheit
- Digitalisierung

**Raumfahrtagentur**

**Projekträger**

ca. 8.200 Mitarbeiter/innen in  
40 Instituten und Einrichtungen  
in 20 Standorten

Büros in Brüssel, Paris, Tokio und  
Washington



# Institut für Verkehrssystemtechnik

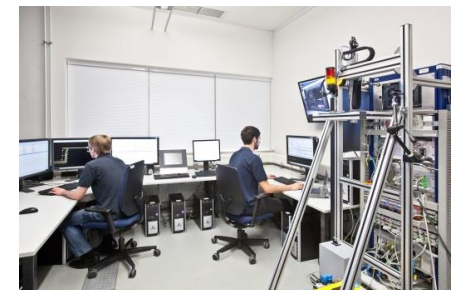
Sitz: Braunschweig, Berlin

Mitarbeiter: ca. 170 Mitarbeiter/innen aus versch. wissenschaftl. Bereichen

Forschungsgebiete: Automotive  
Bahnsysteme  
ÖPNV & Intermodalität  
Verkehrsmanagement

Aufgabenspektrum: Grundlagenforschung  
Konzepte und Strategien  
Prototypische Entwicklungen  
Betrieb von Forschungsinfrastruktur

Qualität: zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und VDA 6.2  
sowie RailSiTe® gemäß ISO 17025



# Technologiefeld Bewertung des Verkehrs

## Angebotsplanung und Betrieb

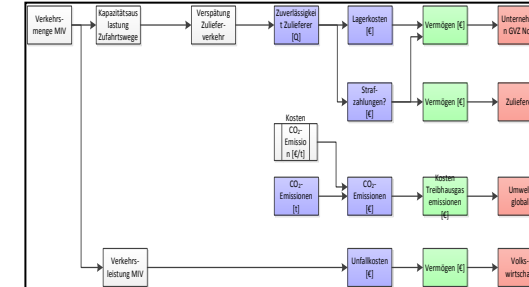
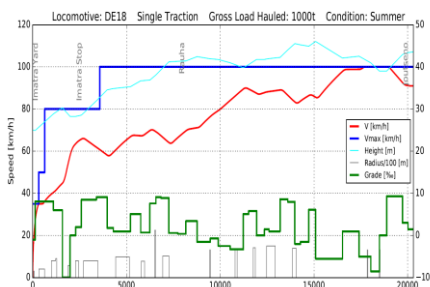
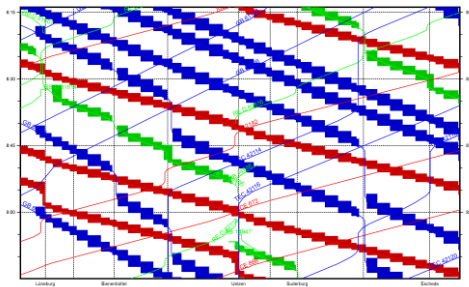
- Energieeffizienz und Lärmreduktion
- Automatisierter Bahnbetrieb
- Konzeptionelle Lösungen / innovative Betriebsszenarien
- Migrationsstrategien
- Öffentliche (kollektive) Verkehrssysteme

## Qualität und Wirtschaftlichkeit

- Multikriterielle Analyse und Bewertung von Verkehrssystemen
- Identifizierung und Systematisierung von Key Performance Indikatoren (KPI)
- Entwicklung von Bewertungssystemen

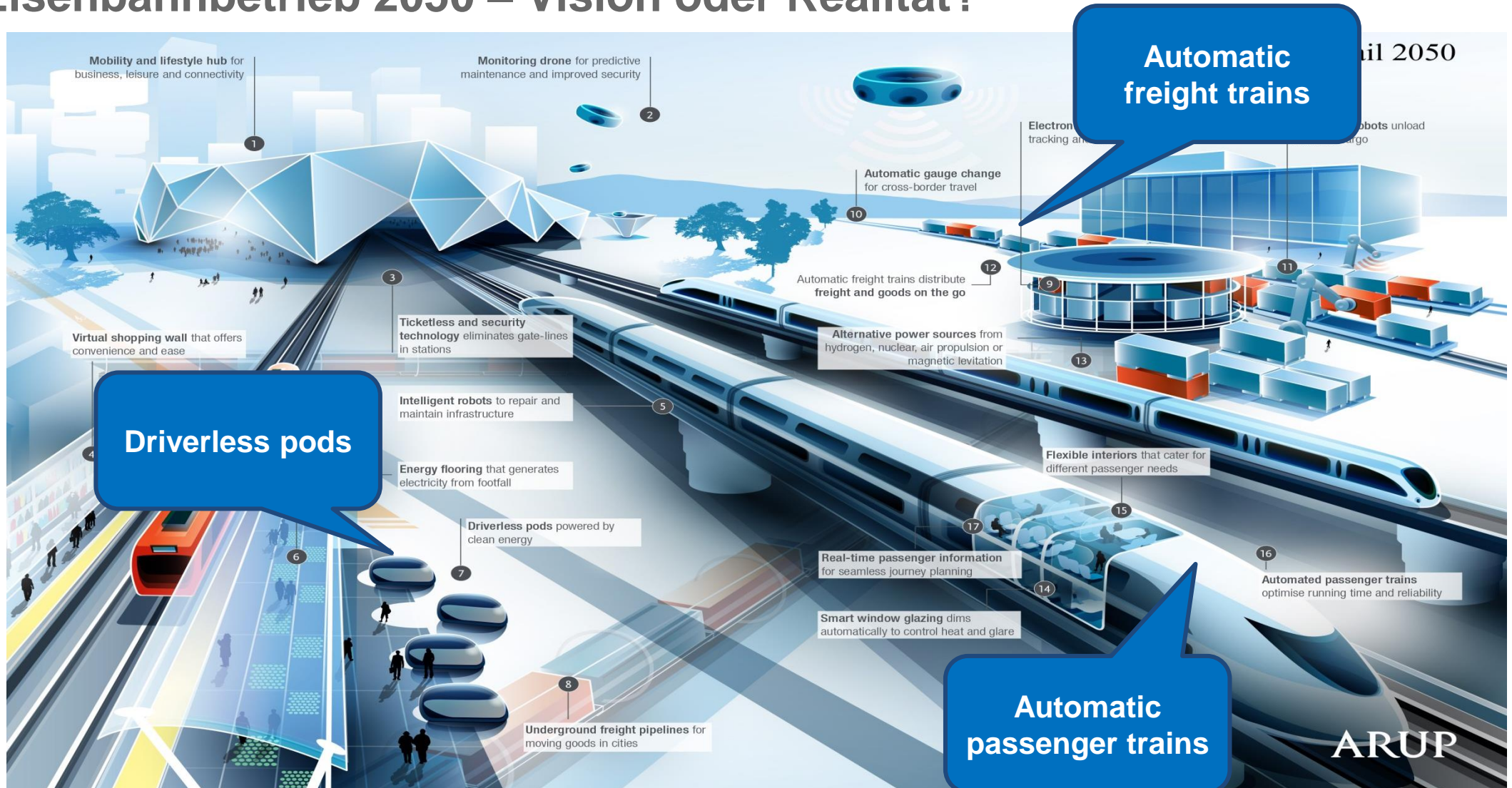
## Simulation und Modellierung

- Mikroskopische Verkehrssimulation SUMO
- Testumgebung für Fahrassistenz, autonome Fahrfunktionen sowie V2X Kommunikation
- Verkehrseffekte des autonomen Fahrens
- Verkehrsflussoptimierung





# Der Eisenbahnbetrieb 2050 – Vision oder Realität?



Quelle: Studie "Future of Rail 2050", ARUP, 2014

# Notwendigkeit eines leistungsfähigen Schienenverkehrssystems – Die Automatisierung auf der Straße wird die Verkehrsprobleme nicht lösen

## Aktuelle Studien<sup>1</sup> zu den Auswirkungen des automatisierten Straßenverkehrs zeigen:

- Hohe erwartete Zunahme der Straßenverkehrsleistung bei den Szenarien
  - Carsharing und Ridepooling ohne leistungsfähiges urbanes Bahnsystem
    - Verlagerung von Fuß-, Rad- und Bus-Wegen zum automatisierten IV<sup>2</sup>
    - Entstehung von Leerfahrten (!)
    - Verlängerung der durchschnittlichen Reisezeiten im Vergleich zu heute (!)
- Einziges Szenario mit reduzierter Verkehrsleistung behält leistungsfähigen urbanen Bahnverkehr bei

## Schneller Eisenbahnfernverkehr erreicht momentan eine hohe Attraktivität

- Wegen Komfortmerkmalen weiterhin gute Konkurrenzsituation zum autonomen Auto erwartet
- Chance durch autonome Zubringerfahrzeuge auf der Straße

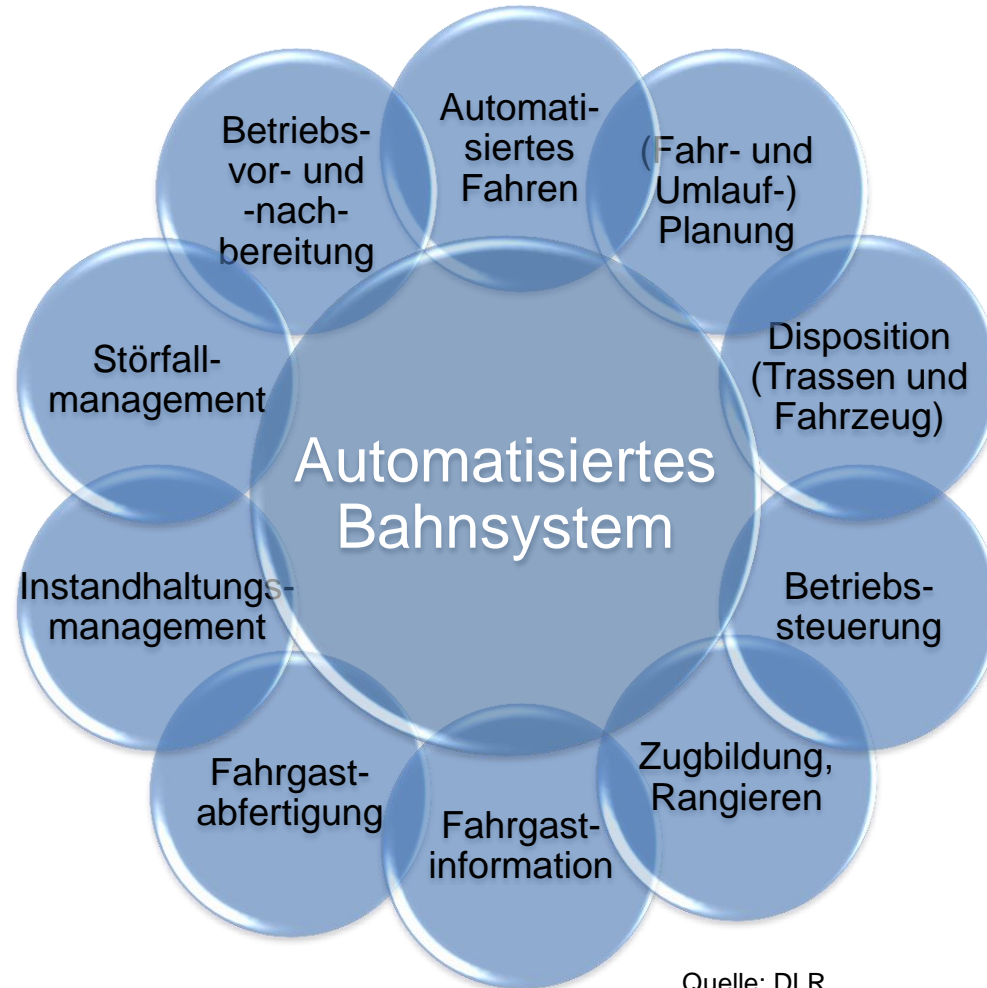
<sup>1</sup> z. B.: OECD International Transport Forum, Urban Mobility System Upgrade („Lissabon-Studie“), 2015

<sup>2</sup> Individualverkehr





# Hochautomatisiertes Bahnsystem – Mehr als nur Züge ohne Lokführer



Quelle: DLR



Quelle: flickr.com



# Automatisierung in der Betriebsdurchführung reicht von der Übernahme der Steuerung des Systems bis zur vollständigen Übernahme aller TF<sup>1</sup> Aufgaben

Bahnbetriebliche Basisfunktion		Nicht automatischer Betrieb	Teil-automatischer Betrieb	Fahrerloser Betrieb	Begleiterloser Betrieb
		NTO	STO	DTO	UTO
		GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
Sicherung der Zugbewegung	Sicherung der Fahrstraße	S	S	S	S
	Sicherung der Abstandshaltung	S	S	S	S
	Sicherung der Geschwindigkeit	X	S	S	S
Fahren und Bremsen		X	S	S	S
Kollisionsvermeidung mit Objekten und Personen (Hinderniserkennung)		X	X	S	S
Sicherung des Fahrgastwechsels		X	X	X oder S	S
Zugbetrieb	Bereitstellung und Abstellung	X	X	X	S
	Überwachung des Zugzustands	X	X	X	S
Sicherstellung der Störfallerkennung und des Störfallmanagements		X	X	X	S und/oder Personal im OCC

<sup>1</sup> Triebfahrzeugführer

Grade of Automation (GoA) nach IEC 62267



# In Metrosystemen ist das voll automatisierte Fahren Stand der Technik

## Metrosysteme:

- Es existieren in weltweit 37 Städten 55 vollautomatische Metrosysteme
- Es sind nicht vernetzte Inselsysteme im Massenverkehr mit hoher Zugfolge auf kurzen Strecken mit eigenem Bahnkörper
- Über 75 % von ihnen sind aus Sicherheitsgründen mit Bahnsteigtüren ausgerüstet
- Hoher Investitionsaufwand lohnt sich vor allem dann, wenn ohnehin eine komplette Modernisierung der Strecken und Fahrzeugen ansteht
- Die besonderen Vorteile sind hohe Betriebsflexibilität bei Verkehrsspitzen und erhöhte Servicequalität bei gleichbleibendem Personalstand



Quelle: Allianz pro Schiene

# Bei Veränderungen im Bahnsystem müssen die Auswirkungen auf alle Stakeholder betrachtet werden





# Automatisierung bringt viele Vorteile, heißt aber auch hohe Investitionen

## Eigenschaften des automatisierten Fahrens:

- Optimierte und exakte Fahrweise
- Hohe Bremsgenauigkeit
- Einhaltung von Steuervorgaben
- Große zeitliche Abfahrtsgenauigkeit
- Automatische Abfertigung
- Kein Personal im Zug (GoA 4)

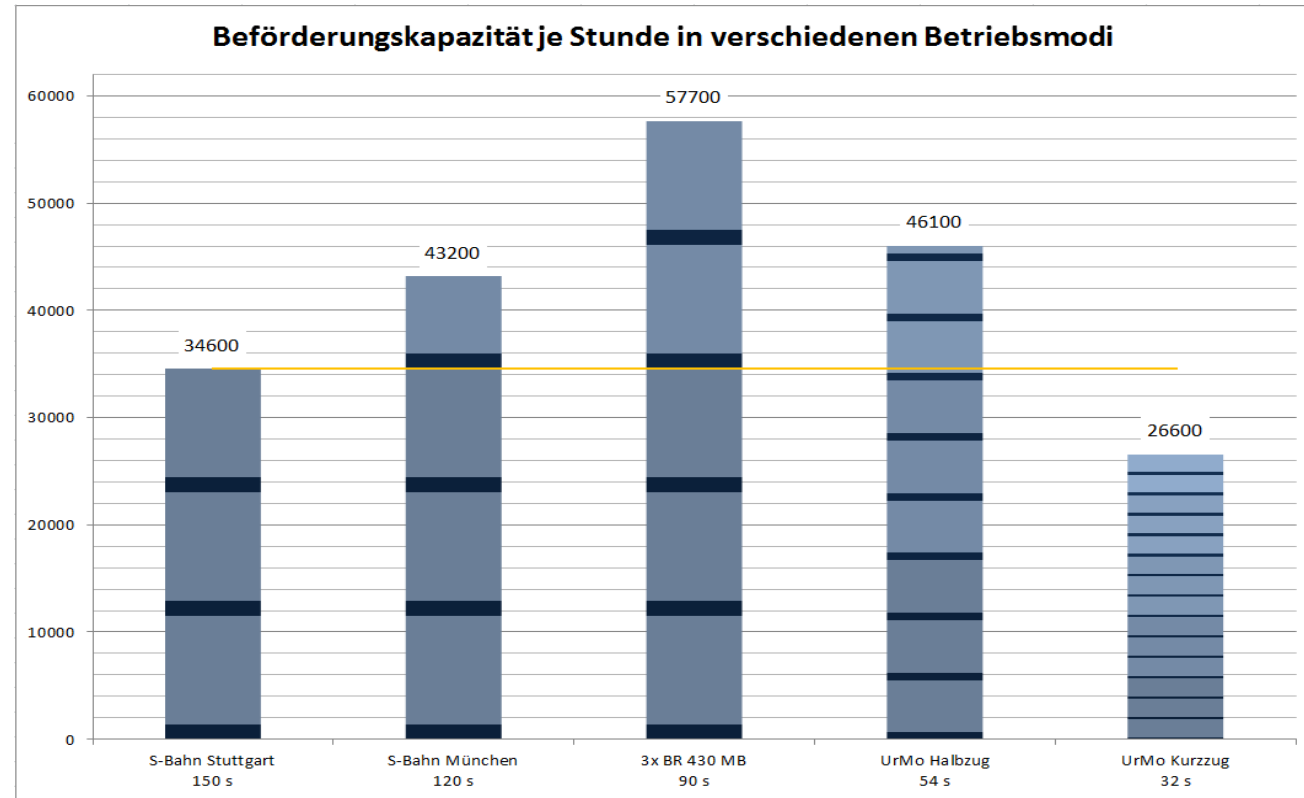
- ↑ Bessere Ausnutzung bzw. Erhöhung der **Streckenkapazität**
- ↑ Verbesserung der **Betriebsqualität** und -robustheit
- ↑ Reduzierung des **Energieverbrauches**
- ↑ Senkung der **Betriebs- und Instandhaltungskosten**
- ↑ **Bedarfsorientierung** des Angebotes
- ↓ Hohe **Investitionen**
- ↑ Kürzere Wartezeiten
- ↑ Verlässliche Reiseplanung
- ↑ Gesicherte Anschlüsse
- ↑ Ggf. niedrigere Ticketpreise
- ↑ Höhere Bedienqualität



# Einsatz kleiner Zugeinheiten – verbesserte Bedienqualität bei Berücksichtigung der notwendigen Beförderungskapazität

- Kürzere Zugeinheiten ermöglichen
  - Verringerung der Mindestzugfolgezeit
  - Flexibilisierung des Betriebes
- Bei gleichbleibender Kapazität könnte die Zuglänge halbiert und die Taktfolge somit entsprechend erhöht werden
- Sehr kleine Fahrzeugeinheiten (z. B. 35 m) können die geforderte Kapazität allerdings nicht bereitstellen

 **Infrastruktur und Betriebsprogramm sind entscheidend für die optimale Fahrzeuggröße!**



Quelle: DLR



# Bedarfsorientiertes Angebot – schnelle Reaktionsfähigkeit auf veränderte Nachfrage und bei Störungen

## Entfall der Fahrpersonalplanung

- Unabhängigkeit von Dienstplänen
- Entfallende Abhängigkeiten bei Personalübergängen
  - Kurze Bereitstellungszeiten für Bedarfsverkehre
  - Kürzere Betriebsvor- und -nachbereitungszeiten sowie Wendezeiten



Quelle: Siemens / © Designworks

## Nachfrage- und serviceorientierter Betrieb

- kleinere Fahrzeugeinheiten
- Erhöhte Taktfrequenzen
- Bei Verkehren ins Umland häufigere Anbindung einzelner Außenäste eines Netzes
- Stärken und Schwächen der Züge nach zeitlichem und räumlichen Bedarf
- Besserer Service
- Wirtschaftlichkeit?



**Beschleunigung von Abläufen auf dem Betriebshof durch automatisierte Zugbewegungen**





# Erfahrungen aus dem Metrobereich – Verbesserungen in Energieeffizienz, Pünktlichkeit und Betriebskosten durch einen voll automatisierten Betrieb

## Energieeinsparungen:

- Allgemein: bis zu 20 %
- METEOR: 25 - 30 %

## Taktdichte bei Automatisierung:

- Metro Nürnberg: 200 auf 100 s
- METEOR: 105 auf 85 s

## (Betriebs)kosten:

- 40 % weniger als konventionelle Systeme
- Metro Nürnberg: 800.000 km/ Jahr weniger durch Anpassung Fahrzeugeinsatz  
38 Mio-€ Einsparung durch geringeren Fahrzeugbedarf

## Durchschnittsgeschwindigkeit:

- Metro Kopenhagen (autom.): 35 km/h bei 1 km Abstand zwischen Stationen
- London Underground (nicht voll autom.): 33 km/h bei 1,25 km Abstand zwischen Stationen
- Tokio Metro (nicht voll autom.): 30 km/h bei 1,25 km Abstand zwischen Stationen

## Pünktlichkeit:

- Bei Automatisierung gegen 100 %
- Metro Nürnberg: höher als 99 %
- METEOR: deutliche Zunahme



Quelle: VAG - Claus Felix



# Neben der technischen Machbarkeit sind auch Kosteneffizienz und Durchsetzbarkeit relevant für eine Vollautomatisierung

## Beste Voraussetzungen für die Automatisierung:

- geschlossene Netze
- geringe topologische und betriebliche Komplexität
- einfache technische und betriebliche Randbedingungen
- homogener, mittlerer Geschwindigkeitsbereich
- geringe Fahrzeug-Vielfalt
- Nutzbarkeit von bereits bestehenden Systemen, wie z. B. ETCS<sup>1</sup>

## Aufwand wird entscheidend beeinflusst durch

- vorhandene technische Ausrüstung und dem damit verbundenen aktuellen Automatisierungsgrad
- Komplexität des Netzes, des Betriebsprogrammes und den RAMS<sup>2</sup>- Anforderungen

## Nutzen wird entscheidend beeinflusst durch

- Größe der erreichbaren Verbesserungen und vorhandener und induzierbarer Nachfrage

## Durchsetzbarkeit wird entscheidend beeinflusst durch

- Akzeptanz, erreichbaren Nutzen, Höhe des Aufwandes, notwendige Gesetzes- und Regelwerksänderungen

Machbarkeit

Aufwand

Nutzen

Durchsetzbarkeit



# Voraussetzungen und Motivation für eine Automatisierung sind in den einzelnen Marktsegmenten sehr unterschiedlich

## Personenverkehr (HGV) (Fernverkehrsstrecken)



Quelle: dpa

- offenes Netz
- homogener, hoher Geschwindigkeitsbereich
- Ähnliche Fahrzeugtypen
- Große Stationsabstände
- Hoher Automatisierungsgrad

## Flächenverkehr (Regionalnetz)



Quelle: zvv.ch

- offenes Netz
- geringe topologische Komplexität (eingleisig)
- Einfache Betriebsführung
- Mischverkehr
- Unterschiedliche Fahrzeugtypen
- sehr geringe Taktdichte

## Urbaner Verkehr (S-Bahn, eigenes Netz)



Quelle: RegionalBahn.hu

- geschlossenes Netz
- geringe topologische Komplexität
- homogener Geschwindigkeitsbereich
- einheitl. Fahrzeugtypen
- kurze Stationsabstände
- hohe Taktdichte

## Güterverkehr (Fernverkehrsstrecken)



Quelle: breidenbach-frost.de

- Unterschiedliche, mittlere Geschwindigkeiten
- Große Vielfalt von Fahrzeugtypen
- Sehr schwere Züge
- Kein Fahrplan

## Industriebahnen und Rangierbereiche



Quelle: bildarchiv-hamburg.de

- geschlossenes Netz
- geringe topologische Komplexität
- homogener Geschwindigkeitsbereich
- Einheitl. Fahrzeugtypen
- Kein Fahrplan
- Rangierbetrieb





# Voraussetzungen und Motivation für eine Automatisierung sind in den einzelnen Marktsegmenten sehr unterschiedlich

Personenverkehr (HGV)  
(Fernverkehrsstrecken)



Quelle: dpa

Kapazität  
Betriebsstabilität  
Pünktlichkeit

Effekte teilweise bereits mit  
GoA2

Flächenverkehr  
(Regionalnetz)



Quelle: zvv.ch

Bedarfsorientierung  
Flexibilisierung  
Betriebskosten

Erreichbar mit GoA3/4

Urbaner Verkehr  
(S-Bahn, eigenes Netz)



Quelle: RegionalBahn.hu

Kapazität  
Betriebskosten

Gute Voraussetzungen  
für GoA4

Güterverkehr  
(Fernverkehrsstrecken)



Quelle: breidenbach-frost.de

Betriebskosten  
Arbeitsbedingungen

Effekte mit GoA2, Lösung  
des Personalproblems  
GoA4

Industriebahnen und  
Rangierbereiche



Quelle: bildarchiv-hamburg.de

Betriebskosten  
Arbeitsbedingungen

Gute Voraussetzungen  
für GoA4

## Im GoA2 können bereits Effekte hinsichtlich Energieeffizienz, Betriebsstabilität und Kapazität erreicht werden

Ausrüstung	Kapazität	Betriebsqualität	Energieeffizienz	Flexibilität	Investitionen
DAS			+		€
DAS-C <sup>1</sup>	+	+	+		€
GoA 2 (ATO) <sup>2</sup>	++	++	++		€ €
GoA 4	++	++	++	++	€ € €

+ = Voraussetzung vorhanden, aber nicht verpflichtend

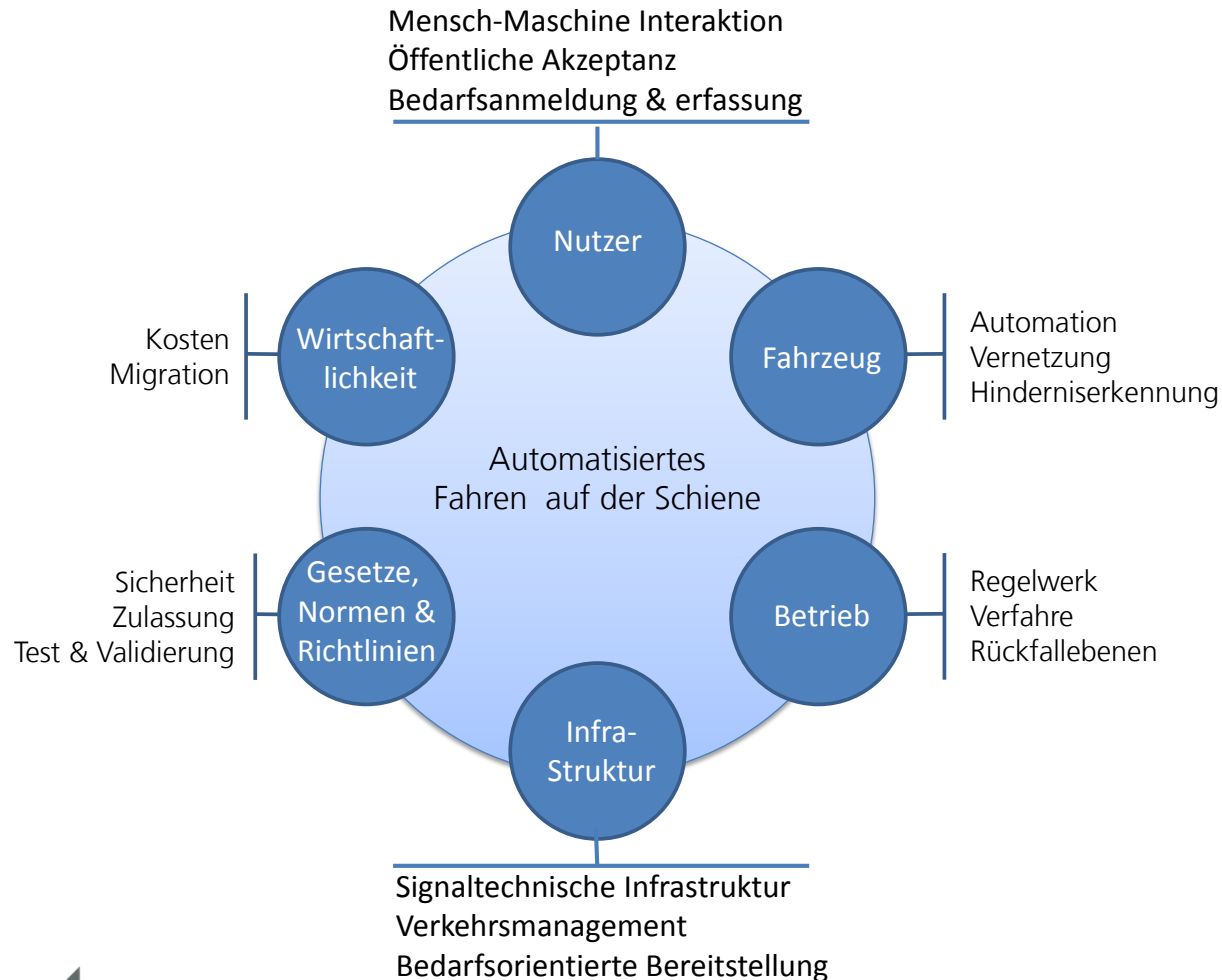
++ = automatische Umsetzung

€ = Kosten

- Mit der Leitstelle vernetzte DAS bieten bereits **gute Voraussetzungen** für Energieeinsparung und Kapazitätserhöhung sowie Betriebsstabilität
- Ausschlaggebend ist hier die **Akzeptanz** durch die Tf, da das DAS nur Empfehlungen gibt
- Mit GoA 2 sind Erhöhung der Kapazität und Energieeffizienz sowie Betriebsstabilität bereits in einem hohen Maße umsetzbar, abhängig vom jeweiligen Marktsegment



# Neben technischen Herausforderungen sind für GoA 4 die Themen Zulassung und Regelwerksänderungen essenzielle Punkte



## Größte Herausforderungen:

- Automatisierung der Streckenbeobachtung (Hinderniserkennung)
- Verlässliche Positionsbestimmung
- Störfallmanagement und Rückfallebenen
- Präzise und aktuelle Infrastrukturdaten
- Änderungen in den Regelwerken
- Zulassung und Migration
- Interoperabilität



# Derzeit stellt die Auswirkung der Fahrzeugautomatisierung auf der Schiene das Recht vor Herausforderungen

## Recht adressiert stets an natürliche Personen:

- Dort, wo nicht mehr an ein natürliche, verantwortliche Person adressiert werden kann steht das Recht vor Herausforderungen
- Das „technische System“ kann kein tauglicher Adressat des Rechts sein
  - Vollautomatisierung stellt Recht vor Paradigmenwechsel
  - Hochassistiertes Fahren aus rechtlicher Sicht weit weniger problematisch



## Daraus folgt:

- Haftungslücken im Straf- und Zivilrecht müssen analysiert werden
- Als Folge zunehmender Automatisierung stellt sich eine Haftungsverschiebung „nach oben“ ein. Betreiber des Systems sowie Hersteller der technischen Komponenten rücken verstärkt in den Fokus der Haftung

 **Insgesamt ist die Automatisierung auf der Schiene jedoch unproblematischer als auf der Straße**



# Die Automatisierung im Bahnbetrieb adressiert einen Änderungsbedarf des einfachen Rechts sowie der entsprechenden Regelwerke

## Eine Umsetzung der Bahnautomatisierung muss im einfachen Recht geändert werden

- Oftmals wird die Anwesenheit von Personal bzw. die Durchführung von Aufgaben von Personal implizit oder explizit vorausgesetzt
- Anpassungen an Gesetze und / oder Konzernrichtlinien für einen vollautomatisierten Betrieb sind zwingend erforderlich

### Beispielsweise:

#### Gesetze & Verordnungen

- Allgemeines Eisenbahngesetz – AEG
- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung – EBO
- Eisenbahn-Signalordnung – ESO
- Verordnung über die Erteilung der Fahrberechtigung an Triebfahrzeugführer sowie die Anerkennung von Personen und Stellen für Ausbildung und Prüfung – TfV
- Triebfahrzeugführerschein-Prüfungsverordnung – TfPV

#### Richtlinien

- Fahrdienstvorschrift – RiL 408
- Signalbuch – RiL 301
- Vorschriften für Nichtbundeseigende Eisenbahnen – FV-NE / RiL 438

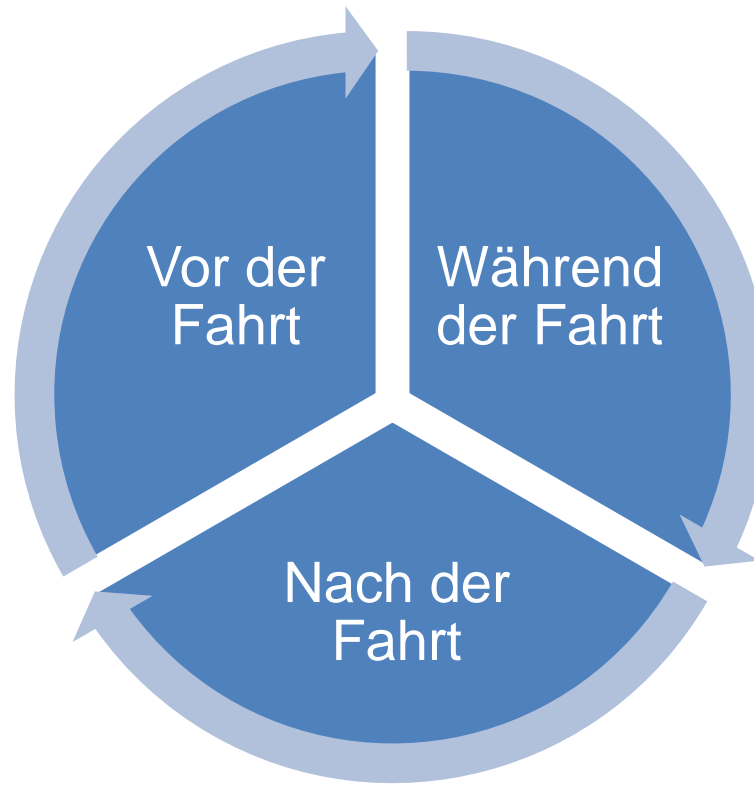


# Identifizierte Aufgaben des Triebfahrzeugführers im Personenverkehr auf einem Triebzug

Folgende Aufgaben sind im Zuge der Automatisierung (GoA 4) von einem technischen System zu übernehmen:

## Vor der Fahrt

- Bremsprüfung
- Türprüfung
- Prüfung der Sicherheits-einrichtungen
- Prüfung, Dateneingabe und Einstellung der Zugsicherungstechnik (PZB / LZB)
- Prüfung der Fahrzeugsicherheit
- Bereitstellung des Zugs



## Während der Fahrt

- Abfertigung der Züge
- Funkanweisungen
- Störfallbehandlung
- Zugsicherungstechnik (PZB / LZB / ETCS)
- Streckenbeobachtung
- Geschwindigkeitsregelungen
- Signalbeobachtung

## Nach der Fahrt

- Abstellung des Zuges





## Relevante Richtlinien – notwendige Regeländerungen:

Die derzeitigen Aufgaben des Triebfahrzeugführers können komplex bis trivial sein

### Unterteilung der Aufgaben des Fahrpersonals nach analysierten Regelwerken in:

- Züge fahren - Regelbetrieb
- Züge fahren - Störungsbetrieb
- Züge fahren - Meldungen
- Züge fahren - Ausrüstung
- Rangieren

### Auszug der Aufgaben aus den analysierten Regelwerken:

- Breites Spektrum an Aufgaben für das Betriebspersonal
- Die Aufgaben können komplex bis trivial sein (siehe Tabelle)

Richtlinie (RiL)	Task / Ausführung	Kommentar
301.0002 (9)	Ungültige Signale (weißes Kreuz)	Komplexe Bilderkennung & Anbindung Zugbeeinflussung notwendig
408.2554 §2(3)	Evakuierung im Tunnel bei Feuer im Zug	Erfordert nicht zwingend Tf, aber Zugpersonal
438 §2 (7)	eine richtigzeigende Uhr (Ausrüstung)	Mitarbeiter im Betriebsdienst



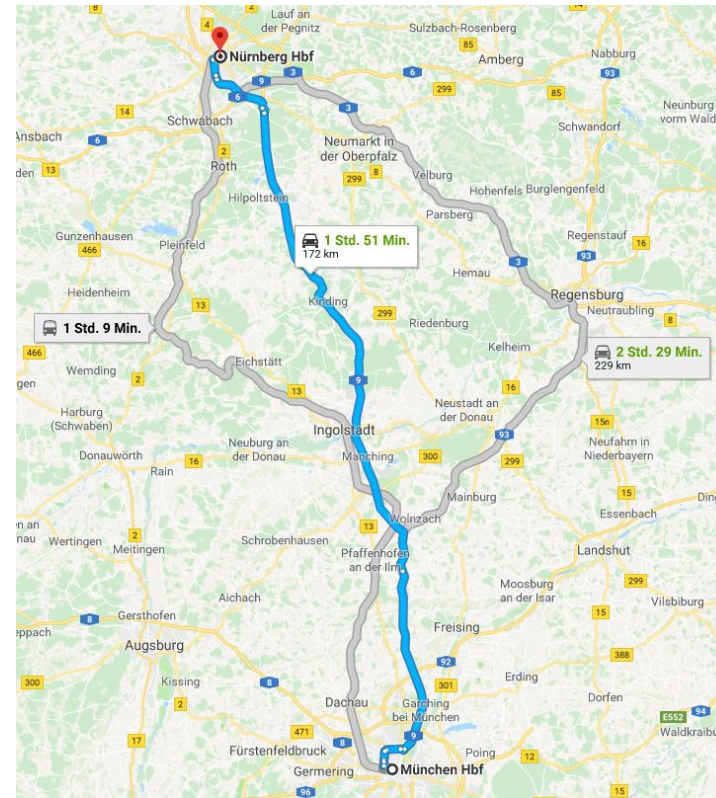
# Ein komfortbezogener Vergleich im Fernverkehr (Auto vs. Bahn) – Warum entscheiden wir uns für ein Verkehrsmittel?

## Strecke: München – Nürnberg

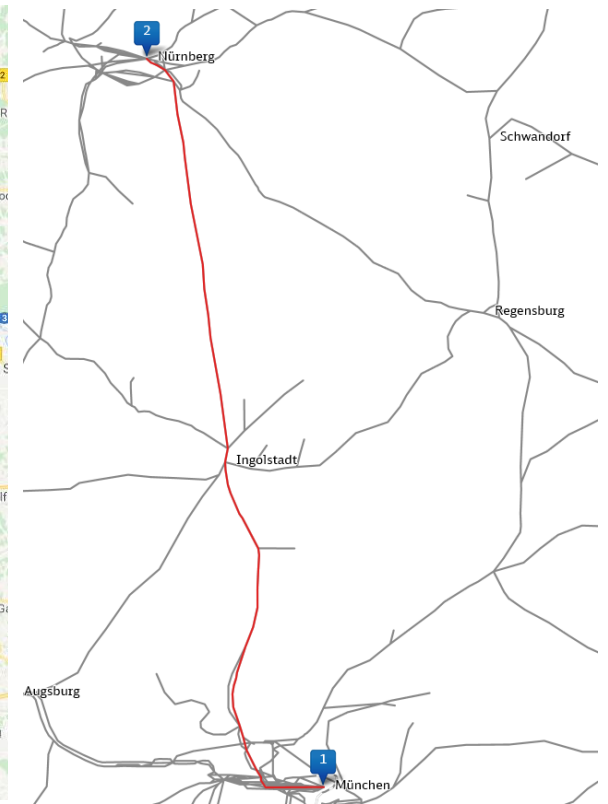
Vergleich	Auto	Bahn
Entfernung	172 km	171 km
Fahrzeit	110 min	65 min
Kosten	14 € <sup>1)</sup>	57 €

<sup>1)</sup>Annahme: 6 Liter/100 km; Diesel: 1,3 Euro / Liter  
Vergleich berücksichtigt ausschließlich die Dieselskosten

**Annahme:** Zukünftig ist das automatische Fahren auf der Autobahn schon umgesetzt!



Quelle: google maps



Quelle: DB Trassenfinder

# Ein komfortbezogener Vergleich im Fernverkehr (Auto vs. Bahn) – Muss sich die Bahn warm anziehen?

## Vorteile Auto

- Sitzplatzgarantie
- Wohlfühlatmosphäre schnell umsetzbar (Temperatur, Musik, Sitz)
- persönliche Komfortzone, privater Raum
- Fahrt beliebig unterbrechbar
- Schneller Systemzugang
- Direkt bis zum Ziel

## Nachteile Auto

- Fahraufgabe abseits der Autobahn
- keine großen Bewegungen möglich
- Pausenzeiten / kein Service an Bord (Toilette, Gastronomie, Personal)
- Lesen, Arbeiten, Ruhen teilweise problematisch aufgrund Fahrbewegung
- Parkplatzsuche



### Frage:

- Für welches Verkehrsmittel würden Sie sich entscheiden?
- Warum?

Quelle: Audi



Bild: Wikimedia, CC BY-SA 4.0, Andre.de

## Vorteile Bahn

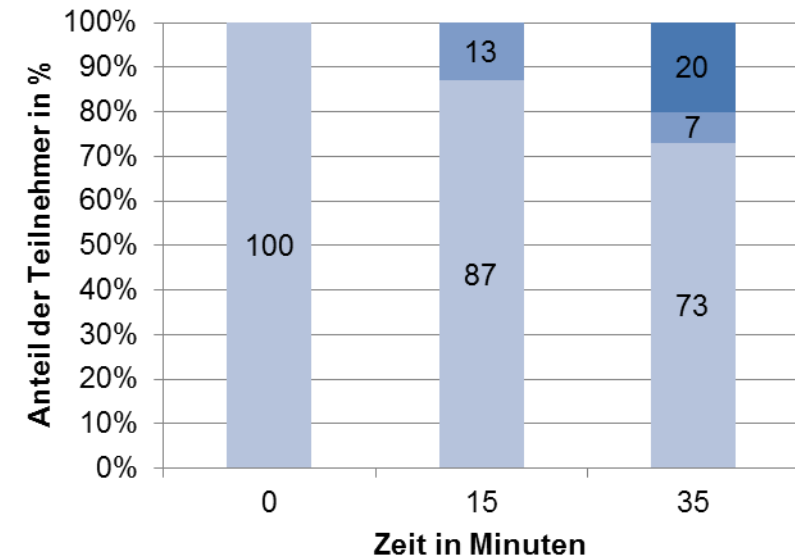
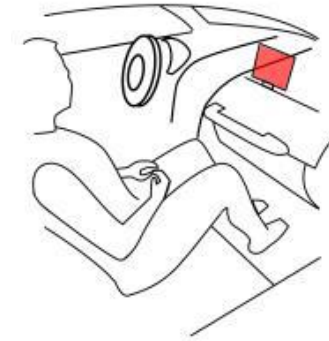
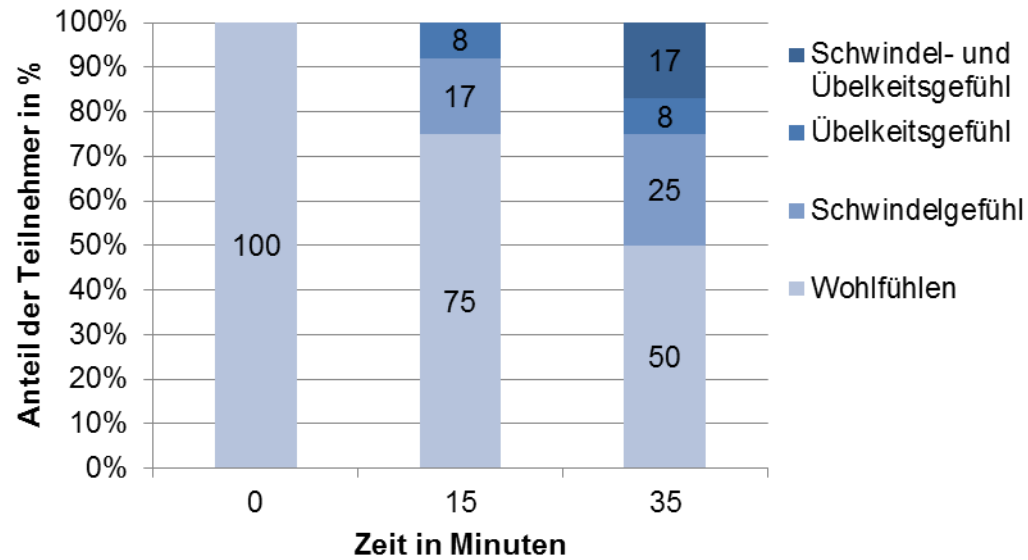
- Keine Fahraufgabe (Zeitbewertung)
- Fahrgast kann im Zug umherlaufen
- „Rastplatz an Bord“ (Toiletten, Gastronomie, Service)
- Fahrkomfort ermöglicht unzählige Tätigkeiten und Entspannung (Arbeiten, Schlafen, Essen)

## Nachteile Bahn

- Feste Systemzugänge in großem Abstand zueinander → Fernverkehr (meist) nicht direkt zugänglich
- nicht direkt bis zum Ziel
- Klimatisierung und Beleuchtung selten beeinflussbar
- halböffentlicher Raum, wenig Privatsphäre



# Ein Denkanstoß: „Mehr Zeit – mehr Übelkeit?“



Quelle: Diels, Bos, Hottelart & Reilhac (2016)

# Fazit

- Das Bahnsystem ist durch die aktuellen Bestrebungen aus der Automobilbranche im Zugzwang
- Voraussetzungen und Erfolgsaussichten sind abhängig vom jeweiligen Marktsegment
- Viele Technologien sind bereits im Einsatz, erforscht bzw. in der Erprobungsphase
- Die Automatisierung und Digitalisierung darf nicht nur das automatisierte Fahren zum Ziel haben
- Für eine erfolgreiche Automatisierung sind noch viele andere Herausforderungen zu meistern:
  - Störfallmanagement / Rückfallebene
  - Sicherheitsaspekte
  - Zulassungsprozesse
  - Regelwerke und gesetzliche Vorgaben
- Die Bahn als „Massenverkehrsmittel“ muss zukünftig noch stärker auf Komfort setzen



# Mitarbeiter gesucht!

- **Digitalisierung und Automatisierung im Bahnbetrieb**
  - Verkehrsingenieur o.ä. (m/w)
  - <http://s.dlr.de/71w8>
- **Studentische Mitarbeiter und Praktikanten**
  - Initiativbewerbung



**Dr.-Ing. Bärbel Jäger**  
Bewertung des Verkehrs  
Technologiefeldleiterin  
[baerbel.jaeger@dlr.de](mailto:baerbel.jaeger@dlr.de)

**Dr.-Ing. Christian Meirich**  
Bewertung des Verkehrs  
Angebotsplanung und Betrieb  
[christian.meirich@dlr.de](mailto:christian.meirich@dlr.de)

[www.DLR.de](http://www.DLR.de) | Institut für Verkehrssystemtechnik

